

И. С. Зубков, В. Л. Блинов

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

lamqtada@gmail.com

## АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Исследование посвящено численному моделированию течения потока газа в проточной части центробежного нагнетателя природного газа с целью последующего анализа эффективности его работы. В результате исследования была получена расходно-напорная характеристика нагнетателя, проанализированы основные способы повышения эффективности его работы.*

*Ключевые слова: энергоэффективность; численное моделирование; центробежные нагнетатели; характеристика; лопаточный аппарат.*

I. S. Zubkov, V. L. Blinov

Ural Federal University, Ekaterinburg

## ANALYSIS OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR EFFICIENCY IMPROVEMENT WITH NUMERICAL SIMULATION

*Abstract: The study presents numerical simulation of gas flow in air-gas channel of centrifugal compressor for further analysis of its efficiency. The function «volume flow rate – total pressure ratio» was obtained as the result, different ways of efficiency improvement were analyzed.*

*Keywords: energy efficiency; centrifugal compressors; numerical simulation; blade row; characteristic.*

Основными энергетическими машинами в газотранспортной отрасли являются центробежные нагнетатели. Совершенствование их конструкции является перспективным направлением исследований,

направленных на поиск путей повышения эффективности транспорта газа.

В качестве объекта исследования был выбран центробежный нагнетатель Н-370-18-1 производства Невского завода (ЗАО «НЗЛ»). Данный центробежный нагнетатель (ЦБН) является стационарной машиной со степенью повышения давления  $\pi = 1,23$  и частотой вращения ротора  $n_{\text{ном}} = 4800$  об/мин (при  $t = 15^\circ\text{C}$ ) [1].

В проточной части нагнетателя рабочему телу сообщается кинетическая энергия привода, после чего происходит ее преобразование в потенциальную энергию потока. В качестве привода применяются газотурбинные установки мощностью 10 МВт (например, ГТК-10-4). Рабочее тело подается в проточную часть сбоку во входное устройство улиточного типа, где происходит изменение направления на осевое. Затем газ поступает в рабочее колесо (РК) радиального типа с 24 лопатками, 12 из которых короткие, где под действием центробежных сил плавно движется в изогнутых межлопаточных каналах. Повышение давления происходит за счет диффузорности каналов в совокупности с действием центробежных сил. После рабочего колеса поток газа попадает в лопаточный диффузор (ЛД), имеющий 18 лопаток, в котором также происходит преобразование скоростного напора в статическое давление. После диффузора следует радиальная сборная камера, в которой происходит плавный поворот потока. Сборная камера соединена с выходным патрубком, откуда газ поступает дальше в газопровод.

Исследование делилось на три основных этапа. Первый этап заключался в создании 3D-моделей основных элементов нагнетателя при помощи CAD-систем. На основе чертежей были построены модели РК и ЛД, была проверена правильность их размещения.

В процессе построения моделей было произведено несколько допущений. Во-первых, основной и покрывной диски не были разделены на два отдельных сборочных элемента, что обусловлено способом крепления элементов между собой при помощи сварки. Во-вторых, были опущены некоторые конструктивные особенности деталей. Например, так называемое «оромашивание» РК или галтели в местах соединений лопаток и дисков РК не строились, поскольку

они оказывают большее влияние на прочностные характеристики, а не на газодинамические параметры потока, значительно усложняют модель и, соответственно, увеличивают требуемые вычислительные ресурсы. Построенные трехмерные модели изображены на рис. 1.



Рис. 1. Рабочее колесо (а) и диффузор (б)

Второй этап включал в себя создание расчетной модели и численные исследования течения при помощи САЕ-системы [2, 3]. Число ячеек расчетной области – 500000. Граничные условия заданы по принципу «полное давление и полная температура на входе, статическое давление на выходе». Интерфейс между доменами – Stage. Модель турбулентности – k-Epsilon. Способ теплопередачи – Total Energy. Уровень сходимости решения –  $10^{-5}$ . Значение Timescale Factor – 10. В качестве рабочего тела был выбран газ метан  $\text{CH}_4$  (модель  $\text{CH}_4$  Ideal Gas). Расчетная модель и сетка приведены на рис. 2 а, б, в.

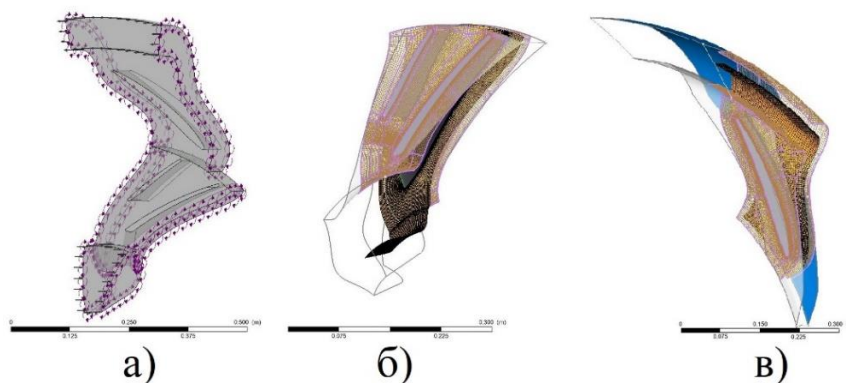


Рис. 2. Расчетная модель:

а – проточная часть, б – рабочее колесо, в – диффузор

На последнем этапе проводился анализ полученных результатов. В ходе работы было проведено 9 расчетов, результаты которых были применены для построения характеристики нагнетателя, приведенной на рис. 3. С ее помощью на практике производится анализ режима работы ЦБН, например, удаленность от границы неустойчивой работы.

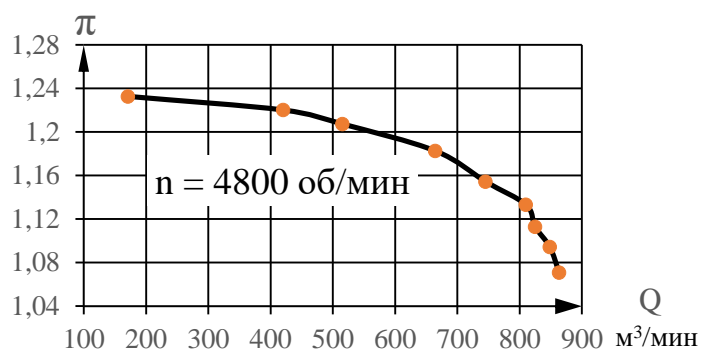


Рис. 3. Характеристика работы нагнетателя

Один из основных способов повышения эффективности работы ЦБН заключается в совершенствовании его проточной части. Например, изменение густоты лопаточного аппарата, подбор конструкции РК и диффузора, применение лопаточных профилей оптимальной аэродинамической формы, выбор конструкции входного устройства для обеспечения входа потока в РК с параметрами, близкими к параметрам осевого подвода, оптимизацией геометрии сборной камеры с целью уменьшения потерь в ней и другие [1–3]. Для исследования выбранных конструктивных решений также применимо численное моделирование, результаты которого будут использоваться для анализа работы ЦБН и сравниваться с характеристиками уже существующей модели нагнетателя, что позволит оценить целесообразность применения той или иной конструкции проточной части в разных условиях и ее влияние на эффективность работы нагнетателя, а, следовательно, и на эффективность транспорта газа.

#### Список использованных источников

1. Особенности конструкций одно- и двухступенчатых нагнетателей природного газа: учебное пособие / Б. С. Ревзин, А. В. Тарасов. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2000. 102 с.
2. Блинов В. Л. Выбор параметров расчетной модели при решении задач многокритериальной оптимизации плоских компрессорных решеток / В. Л. Блинов, Ю. М. Бродов, В. А. Седунин, О. В. Комаров // Компрессорная техника и пневматика. 2015. № 1. С. 36–42
3. Бубнов А. Д. Численное моделирование течения в ПЧ центробежного газового компрессора / М. Ю. Винтер, А. Д. Бубнов, В. Л. Блинов. // Наука. Технологии. Инновации. 2016. № 1. С. 76–78.